บทที่1
บทนำ

ราวศตวรรษที่ 18 มีการพบว่าพลอยสี (tourmaline) เมื่อทำให้ร้อนจะเกิดไฟฟ้าขึ้นได้ ในปี คศ. 1824 บรูสเตอร์ (Brewster) สังเกตว่าปรากฏการณ์ดังกล่าวพบได้ในผลึกอีกหลายชนิด และเรียกชื่อว่า ปรากฏการณ์ไพโรอิเล็กทริก (pyroelectricity) ซึ่งลอร์ด เคลวิน (Lord Kelvin) คิดว่าปรากฏการณ์นี้เกิดจากผลึกมีโพลาไรเซชันถาวร (permanent polarization)

ในปี คศ. 1880 ปีแอร์และแจค คูรี (Pierre and Jacques Curie) ได้ค้นพบปรากฏการณ์เพียสโซอิเล็กทริก (piezoelectricity) ในผลึกควอตซ์ (quartz) ปรากฏการณ์นี้ได้กลายเป็นพื้นฐานสำคัญในการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าเชิงกล (electromechanical devices) และ อุปกรณ์ไฟฟ้าเชิง-ความร้อน (electrothermal devices) หรืออุปกรณ์ไพโรอิเล็กทริก โดยก่อนหน้านั้น ปีแอร์ คูรี ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ไพโรอิเล็กทริกและความสมมาตรของผลึก

เนื่องจากแท่งแม่เหล็ก (magnet) สามารถให้สนามแม่เหล็กบริเวณรอบ ๆ แท่งแม่เหล็กได้ ดังนั้น อีพินัส (F. Epinus) และ โลโมโนซอฟ (M. Lomonosov) ได้ทำนายว่าน่าจะมีแท่งไฟฟ้า (electret) ที่ให้สนามไฟฟ้าสถิตรอบ ๆ ตัวมันได้ คำทำนายนี้ได้รับการสนับสนุนจากเฮฟวีไซด์ (O. Heaviside) ในปี คศ.1892 และเขียนทฤษฎีแท่งไฟฟ้าขึ้นมา (Nalwa, 1995)

กระทั่งปี คศ. 1921 อีกูชิ (M. Eguchi) สามารถสร้างแท่งไฟฟ้าได้จากส่วนผสมของขี้ผึ้ง (carnauba wax) และ เรซิน (resin) โดยการลดอุณหภูมิของสารขณะที่มีสนามไฟฟ้าภายนอก แท่งไฟฟ้าประเภทนี้เรียกว่า เทอร์โมอิเล็กเทร็ด (thermoelectret) จากนั้นก็มีการสร้างแท่งไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ เช่น โฟโตอิเล็กเทร็ด (photoelectret) เทอร์โมโฟโตอิเล็กเทร็ด (thermophotoelectret) แมกนีโตอิเล็กเทร็ด (magnetoelectret) เป็นต้น

ปี คศ.1960 อุปกรณ์ไพโรอิเล็กทริกสร้างโดยใช้ผลึกเดี่ยว (single crystal) เช่น ผลึกควอตซ์ และ ลิเทียมแทนทาเลต (lithium tantalate "$LiTaO_3$") หรือไม่ก็ทำจากเซรามิก (ceramic) เช่น เลดเซอร์โคเนตไททาเนต (lead zirconate titanate "PZT") เป็นต้น

ปี คศ. 1969 คาวาอิ (H. Kawai) ได้ค้นพบปรากฏการณ์เพียสโซอิเล็กทริกที่แรงในพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น คือ พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (poly(vinylidene) fluoride "PVDF" ,

"PVF_2") โดยการยืดฟิล์ม จากนั้นให้สนามไฟฟ้าความเข้มสูงแก่ฟิล์ม PVDF ที่อุณหภูมิสูงค่าหนึ่ง แล้วลดอุณหภูมิลง ขณะที่มีสนามไฟฟ้าอยู่ จากนั้นลดความต่างศักย์ให้เป็นศูนย์

หลังจากนั้น อีก 2 ปีต่อมา นักวิทยาศาสตร์สองกลุ่มคือชาวสหรัฐอเมริกา เบอร์กแมน (J.G. Bergman) แมกฟี (J. H. McFee) และ เครน (G. R. Crane) กับชาวญี่ปุ่น คือ นากามูระ (K. Nakamura) และ วาดะ (Y. Wada) ต่างทำการทดลอง ได้ค้นพบสมบัติไพโรอิเล็กทริก และการเกิดฮาร์มอนิกส์ที่สอง (second harmonics generation) ของ PVDF (Bergman *et al.*, 1971) ต่อมา โลวินเจอร์ (A. J. Lovinger) ได้อธิบายสัณฐานวิทยา (morphology) และสมบัติเฟร์โร-อิเล็กทริก (ferroelectric) ของ PVDF (Lovinger, 1983)

ในปัจจุบันได้มีการนำ PVDF ไปประยุกต์ใช้ทางเสียง (acoustics) คลื่นเหนือเสียง (ultrasonics) การตรวจจับไพโรอิเล็กทริก (pyroelectric detection) วิศวกรรมแพทย์ชีวภาพ (biomedical engineering) และ nondestructive testing (Skotheim, 1988) ตลอดจนมีการใช้พอลิเมอร์ร่วม (copolymers) เช่น พอลิเมอร์ร่วมของไวนิลิดีนฟลูออไรด์และไตรฟลูออโรเอธิลีน P(VDF-TrFE) , พอลิเมอร์ร่วมของไวนิลิดีนฟลูออไรด์และเตตระฟลูออโรเอธิลีน P(VDF-TeFE) และพอลิเมอร์ผสม (blends polymer) ของ PVDF ในทางอุตสาหกรรม

ตารางที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติเพียสโซ-ไพโรอิเล็กทริกของสารต่าง ๆ

Material	d_{31} (pC/N)	p (μC/m^{2}K)	ρ (g/cm^3)	K
PVDF (β-phase)	20-30	30-40	1.8	10-15
PVDF (δ-phase)	10-17	10-15		
Other polymers				
VF_2 -trifluoroethylene copolymer	15-30	30-40	1.9	15-20
Poly(vinyl fluoride)	1	10	1.4	
Poly(vinyl chloride)	1	1-3	1.5	3
Ceramics and single crystals				
Lead zirconate titanate	100-300	50-300	7.5	1200
Barium titanate	80	200	5.7	1700

d_{31} คือสัมประสิทธิ์ความเครียดเพียสโซอิเล็กทริก ρ คือความหนาแน่น

p คือสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก K คือค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

จากตารางที่ 1.1 จะเห็นได้ว่า PZT ซึ่งเป็นเซรามิกมีสมบัติทางด้านเพียสโซอิเล็กทริกดีกว่าฟิล์ม PVDF แต่เนื่องจากฟิล์ม PVDF มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 10-15 ซึ่งต่ำกว่าของ PZT ที่มีค่าประมาณ 1200 แสดงว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ฟิล์ม PVDF จะมีการตอบสนองทางด้านไฟฟ้าดีกว่า PZT และเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ด้วยกัน PVDF (β-phase) มีค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกสูงที่สุด ดังนั้นเราสามารถนำฟิล์มไพโรอิเล็กทริก PVDF มาประยุกต์เป็นตัวรับรู้รังสีอินฟราเรด (infrared sensor "IR sensor") ได้

ส่วนอุปกรณ์ตรวจจับทางแสง (opto device) เช่น อินฟราเรดแอลอีดี (infrared LED) ให้รังสีอินฟราเรดได้ 2 ความยาวคลื่น ขึ้นกับสารที่นำมาสร้าง คือ แกลเลียมอาเซไนด์ (gallium arsenide "GaAs") ให้ความยาวคลื่นประมาณ 940 นาโนเมตร แกลเลียมอะลูมินัมอาเซไนด์ (gallium aluminum arsenide "GaAlAs") ให้ความยาวคลื่นประมาณ 880 นาโนเมตร แสดงว่าตัวรับรู้แบบนี้ตอบสนองต่อรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่จำกัดค่าหนึ่งซึ่งเท่ากับช่องว่างพลังงาน (band gap) ของสารกึ่งตัวนำ จึงต้องใช้คู่กับตัวส่งรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกัน (Sze, 1981)

โดยทั่วไปแล้ว IR sensor แบบสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) จะให้สัญญาณรบกวน (noise) ต่ำกว่าฟิล์ม PVDF แต่ PVDF มีสมบัติหลายอย่างที่น่าสนใจ ได้แก่

1. มีค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกสูง
2. มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง
3. มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าสูญเสียทางไฟฟ้า (dissipation factor) ต่ำ
4. มีค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำ
5. มีความหนาแน่นต่ำ
6. มีความยืดหยุ่นและทนทานสูง
7. สามารถทำให้มีรูปร่างตามที่ต้องการได้
8. มีราคาถูก

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำฟิล์ม PVDF มาประดิษฐ์ IR sensor ที่ผ่านมาได้มีผู้วิจัยศึกษากระบวนการทางกายภาพที่ทำให้ฟิล์ม PVDF มีสมบัติไพโรอิเล็กทริกที่ดี และรู้เงื่อนไขต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัตินี้ของฟิล์ม PVDF ซึ่งให้ผลในระดับที่น่าพอใจ (ชูศรี อุทัยวศิน, 2537)

วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของสารไพโรอิเล็กทริกและสมบัติของ PVDF

2. หาวิธีการเตรียมฟิล์ม PVDF จากแผ่น PVDF ที่หนาประมาณ 5 มิลลิเมตร

3. หากระบวนการทางกายภาพเพื่อพัฒนาฟิล์ม PVDF ให้เป็นฟิล์มไพโรอิเล็กทริก PVDF ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกสูง สามารถนำไปใช้เป็น IR sensor ได้ โดยที่มีอัตราการสูญเสียของฟิล์มต่ำ ใช้เครื่องมือที่มีอยู่ก่อนแล้วในห้องปฏิบัติการ เช่น เครื่องยืดฟิล์ม เตาอบ เครื่องกำเนิดความต่างศักย์สูง เป็นต้น

4. นำฟิล์ม PVDF ที่เตรียมได้ไปทดสอบโครงสร้างผลึกโดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสี-เอกซ์

5. วัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของฟิล์มไพโรอิเล็กทริก PVDF ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่บ่งบอกการตอบสนองทางไฟฟ้า เมื่อฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

6. วัดค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกของฟิล์มไพโรอิเล็กทริก PVDF ที่เตรียมขึ้นโดยเงื่อนไขต่าง ๆ

7. ศึกษาสัญญาณความต่างศักย์จากฟิล์มไพโรอิเล็กทริก PVDF เมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาตกกระทบฟิล์ม

8. นำฟิล์มไพโรอิเล็กทริก PVDF ไปประดิษฐ์เครื่องตรวจจับผู้บุกรุก เครื่องเตือนไฟไหม้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการพัฒนาอุปกรณ์ตัวรับรู้ไพโรอิเล็กทริกโดยใช้ PVDF คือ สามารถรู้กระบวนการผลิตฟิล์ม PVDF จากแผ่น PVDF จากนั้นพัฒนาฟิล์ม PVDF ให้เป็นฟิล์มไพโรอิเล็กทริก PVDF สุดท้ายนำไปประดิษฐ์อุปกรณ์ที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ ไม่ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เครื่องมือบางอย่างที่จำเป็นต้องใช้ก็อาจจะทำขึ้นใหม่หรือพัฒนาให้ดีขึ้นซึ่งประเทศไทยมีศักยภาพเพียงพอที่จะพัฒนาต่อไปได้ ถ้าหากได้รับการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาอย่างจริงจังและต่อเนื่อง